

①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 197 02 752 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>6</sup>:  
**G 02 B 26/10**  
G 02 B 21/00  
G 05 D 3/00

②1 Aktenzeichen: 197 02 752.0  
②2 Anmeldetag: 27. 1. 97  
④3 Offenlegungstag: 30. 7. 98

DE 197 02 752 A 1

⑦1 Anmelder:  
Carl Zeiss Jena GmbH, 07745 Jena, DE

⑦2 Erfinder:  
Schöppe, Günter, 07745 Jena, DE; Tille, Sebastian,  
Dipl.-Ing.(FH), 35043 Marburg, DE; Möhler, Gunter,  
07745 Jena, DE

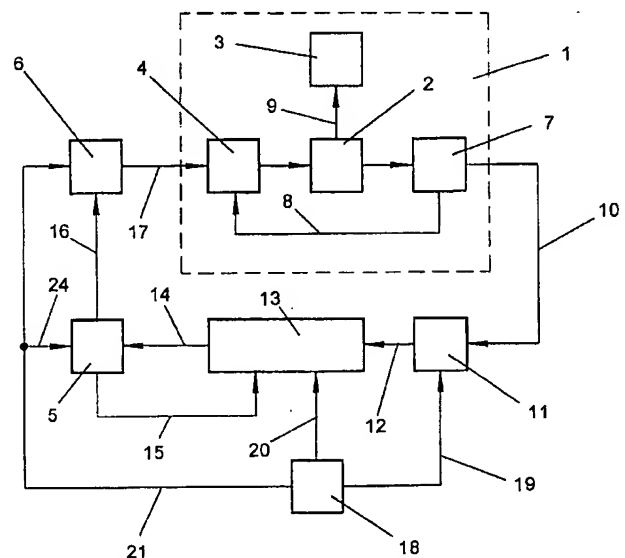
⑤6 Entgegenhaltungen:  
US 48 00 270  
Laser Magazin 3/86, S. 10,12,14,16 u. 18;  
DE-B.: H. Vahldiek, Elektronische Signalverarbei-  
tung, München u. a., Oldenbourg 1977, S. 220-221;  
GIT-Fachz. Lab. 28, 1984, S. 765-773;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤4 Ansteuersystem für einen Scannerantrieb

⑤7 Die Erfindung bezieht sich auf ein Ansteuersystem für einen Scanner (1), insbesondere für ein Laserscannmikroskop, mit einem Schwingmotor zum Antreiben eines Schwingspiegels (3), der zur linear oszillierenden Ablenkung eines Strahlenbündels dient, mit einer Ansteuereinheit (4) zur Speisung des Schwingmotors mit einem Erregerstrom, der hinsichtlich der Ansteuerfrequenz, der Frequenzkurve und der Amplitude veränderbar ist, mit einem Funktionsgenerator (5), der mit der Ansteuereinheit verbunden ist und mit einem Meßwertaufnehmer zur Gewinnung einer Folge von Informationen über die Ablenkpositionen des Schwingspiegels (3). Die Aufgabe der Erfindung wird dadurch gelöst, daß der Meßwertaufnehmer über eine Logikeinheit (13) zur Ermittlung von Korrekturwerten für den Erregerstrom mit dem Funktionsgenerator (5) verknüpft ist. Damit ist es vorteilhaft möglich, unter Auswertung der vom Meßwertaufnehmer zur Verfügung gestellten Informationen über die tatsächliche Ablenkposition des Schwingspiegels mit Hilfe der Logikeinheit (5) Korrekturwerte zu ermitteln. Die können wiederum dazu genutzt werden, die vom Funktionsgenerator (5) ausgegebenen Ansteuerfrequenzen so zu beeinflussen, daß die Abweichungen minimiert bzw. vollkommen vermieden werden.



DE 197 02 752 A 1

Die Erfindung bezieht sich auf ein Ansteuersystem für einen Scannerantrieb, insbesondere für ein Laserscannmikroskop, mit einem Schwingmotor zum Antreiben eines Schwingspiegels, der zur linear oszillierenden Ablenkung eines Strahlenbündels dient, mit einer Ansteuereinheit zur Speisung des Schwingmotors mit einem Erregerstrom, der hinsichtlich der Ansteuerfrequenz, der Frequenzkurve und der Amplitude veränderbar ist, mit einem Funktionsgenerator, der mit der Ansteuereinheit verbunden ist und mit einem Meßwertaufnehmer zur Gewinnung einer Folge von Informationen über die Ablenkpositionen des Schwingspiegels.

In der Technik sind optische Geräte mit Scanneinrichtungen, darunter Laserscannmikroskope, im Prinzip bekannt. Als Strahlungsquelle findet charakteristischerweise ein Laser Verwendung, der Licht entlang eines Strahlenganges auf einen kleinen Lichtpunkt, in der Regel als Pixel bezeichnet, in der Bildebene fokussiert. Auf diese Weise wird nahezu das gesamte Laserlicht zu diesem einzigen Zielpunkt geführt.

Die Scannereinrichtung eines solchen Gerätes dient dazu, sowohl das vom Laser kommende als auch das von der Objektebene reflektierte Licht linear abzulenken und dabei den Lichtpunkt in der Bildebene bzw. in der Objektebene zu bewegen. Eine Rasterabtasteinrichtung, die synchron zu dem Scanner angesteuert wird, gibt das resultierende Detektorausgangssignal als Bildinformation aus.

Es ist bekannt, zur oszillierenden Ablenkung des Strahlengangs elektromechanisch angetriebene Spiegel vorzusehen und den Strahlengang so abzulenken, daß der Zielpunkt sich in Richtung einer Achse bewegt, die als X-Achse bezeichnet werden soll. Dabei kann der Spiegel das Laserbündel auf einen in gleicher Weise angetriebenen zweiten Spiegel lenken, der eine Bewegung des Zielpunktes in Richtung einer orthogonalen Achse, der Y-Achse, veranlaßt.

Nachfolgend soll die Ablenkung in der X-Achse näher betrachtet werden. Obwohl die verwendeten Ablenkspiegel von geringer Größe und damit auch von geringer Masse sind, bestehen die Schwierigkeiten derartiger Scanneinrichtungen immer wieder darin, schnelle und genaue Spiegelbewegungen zum Zweck einer guten Bildlinearität bei kurzer Bildaufbauzeit zu erzeugen. Ursache dafür ist, daß die Spiegelbewegung bzw. der Strahlengang dem von der Ansteuereinheit ausgegebenen Antriebssignal aufgrund verschiedener Störeinflüsse nur mehr oder weniger getreu folgt. Für eine hochleistungsfähige Scanneinrichtung genügt das nicht; hier ist stets die Forderung nach einer hohen Abtastfrequenz zu erfüllen ebenso wie der Anspruch, daß der Zielpunkt eine konstante Geschwindigkeit über die gesamte Ablenkphase beibehält.

Um eine möglichst lineare Antriebscharakteristik für den Ablenkspiegel zu erhalten, wird in der Ansteuereinheit ein Ansteuersignal mit einer Dreieckswelle erzeugt. Die Phasen und die Amplitude eines solchen Antriebssignales bilden die Grundvoraussetzung dafür, daß die Ablenkung lineare Bewegung des Zielpunktes in Abhängigkeit von der Zeit annähert.

Zum Zweck der resultierenden Annäherung einer Dreieckswelle werden im bekannten Stand der Technik die harmonische Analyse, d. h. die Bestimmung von Fourierkoeffizienten, benutzt. Eine solche Scanneinrichtung mit zugehöriger Ansteuereinheit ist z. B. beschrieben in der DE-OS 43 22 694. Hier werden Ansteuersignale auf der Grundlage von zwei der Fourierkomponenten erzeugt, mit dem Ergebnis einer verhältnismäßig guten resultierenden Annäherung an eine Dreieckswelle. Nachteiligerweise führt die hier dargestellte Art der Ansteuerung nicht zu zufriedenstellen-

den Ergebnissen, da die beiden Frequenzen vom Scanner nach Amplitude und Phase unterschiedlich behandelt werden. Das ist selbst dann der Fall, wenn weitere Harmonische der Grundfrequenz zur weiteren Korrektur genutzt werden.

Anders formuliert heißt das, daß die hier vorgeschlagene Lösung nicht geeignet ist, die gewünschte Linearisierung zu realisieren.

In der vorgenannten Veröffentlichung sind zur Ablenkung des Laserstrahles in der X-Achse zwei Resonanzscanner sowie ein Galvanometerscanner vorgesehen, wobei letzterer dazu benutzt wird, eine Gleichstromschwenkbewegung auf die Resonanzbewegung zu überlagern, welche die Resonanzscanner liefern. Bekanntermaßen wird die Schwenkbewegung eines Resonanzscanners weitgehend durch den Austausch von Energie zwischen der Bewegung einer Masse, insbesondere des Spiegels, und der Ablenkung eines elastischen Gliedes, etwa einer Feder, verursacht, an dem die Masse befestigt ist.

Abweichend von dem bisher beschriebenen Aufbau, nach dem innerhalb der Scanneinrichtung mehrere getrennte Scanner mit jeweils einer einzigen Resonanzfrequenz betrieben werden, ist es bekannt, einen einzigen Scanner mit mehreren Resonanzfrequenzen zu betreiben. So ist beispielsweise in der US-PS 4 859 846 die Arbeitsweise eines Scanners beschrieben, der mit einem Spiegel arbeitet und für diesen Scanner durch ein entsprechendes Ansteuersystem mehrere Resonanzfrequenzen erzeugt. Auch bei letzterem handelt es sich um ein Resonanzscannersystem. Auch diese Lösung ist nicht dazu geeignet, den Nachteil zu beseitigen, daß die tatsächliche Ablenkposition von der durch das Ansteuersignal vorgegebenen Position aufgrund verschiedener Störeinflüsse, wie z. B. äußere Temperatureinflüsse, materialbedingte Einflußgrößen usw. verfälscht wird.

Der Erfindung liegt deshalb die Aufgabe zugrunde, das Ansteuersystem für einen Scannerantrieb der vorbeschriebenen Art so weiterzubilden, daß unter Beibehaltung der vorteilhaften Erzeugung eines Ansteuersignales auf der Grundlage einer Dreieckswelle die Genauigkeit der tatsächlichen Ablenkposition bzw. der Linearität der Ablenkung erhöht wird.

Erfindungsgemäß wird die Aufgabe dadurch gelöst, daß der Meßwertaufnehmer über eine Logikeinheit zur Ermittlung von Korrekturwerten für den Erregerstrom mit dem Funktionsgenerator verknüpft ist. Damit ist es vorteilhaft möglich, unter Auswertung der vom Meßwertaufnehmer zur Verfügung gestellten Informationen über die tatsächliche Ablenkposition des Schwingspiegels mit Hilfe der Logikeinheit Korrekturwerte zu ermitteln. Die können wiederum dazu genutzt werden, die vom Funktionsgenerator ausgegebenen Ansteuerfrequenzen so zu beeinflussen, daß die Abweichungen minimiert bzw. vollkommen vermieden werden. Insofern wird durch die erfindungsgemäße Lösung eine Steuerung der Scannbewegung geschaffen, die Abweichungen der tatsächlichen Ablenkposition des Spiegels von der mit der Ansteuerfrequenz vorgegebenen Position erfaßt und Einfluß auf die weitere Ansteuerung des Schwingspiegels nimmt, indem der Erregerstrom entsprechend verändert wird.

In einer vorteilhaften Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß mindestens ein Signalausgang des Funktionsgenerators zwecks Übermittlung von Referenz- und Vergleichssignalen mit einem zugeordneten Signalausgang der Logikeinheit verknüpft ist. Damit ist gewährleistet, daß in der Logikeinheit auch die Ansteuerfrequenzen zur Verfügung stehen, die einem Vergleich mit der tatsächlichen Ablenkung des Spiegels bzw. mit der Antwortfrequenz des Spiegels auf die Ansteuerfrequenz zugrunde zulegen sind.

In der Logikeinheit sollte eine erste Rechenschaltung zur

Umsetzung der Informationen über die Ablenkpositionen des Schwingspiegels nach Amplitude und Phase des Scannerantriebes, bezogen auf eine Vielzahl von Ansteuerfrequenzen, vorgesehen sein. Die Ergebnisdarstellung kann in Form eines Bode-Diagrammes erfolgen.

Des weiteren sollte in der Logikeinheit eine zweite Rechenschaltung zur Ermittlung der Werte von  $k_1 \dots k_n$  und  $\phi_1 \dots \phi_n$  für die Fourierfrequenzen in der Reihe

$$y = 4/\pi \cdot [k_1 \sin(x + \phi_1) - k_2 \sin(3x + \phi_2)/3^2 + k_3 \sin(5x + \phi_3)/5^2 - + \dots]$$

vorgesehen sein, mit  $k_1$  bis  $k_n$  den Korrekturfaktoren,  $x$  dem Ablenkwinkel und  $\phi_1$  bis  $\phi_n$  den Phasenwinkeln. Mit dieser Rechenschaltung ist es möglich, die Antwortbewegung des Ablenkspiegels harmonisch zu analysieren und die Fourierkoeffizienten  $k_1$  bis  $k_n$  zu bestimmen. Dabei wird die Antwortfrequenz in eine Summe von reinen Schwingungen (harmonischen Schwingungen) und einen konstanten Anteil zerlegt.

Weiterhin sollte in der Logikeinheit eine dritte Rechenschaltung zur Modellierung einer korrigierten Ansteuerfunktion aus dem Vergleich von tatsächlich erreichter Ablenkposition mit der gewünschten Ablenkposition. Dabei erfolgt die Modellierung einer korrigierten Ansteuerfunktion auf der Grundlage von Korrekturwerten, die aus diesem Vergleich abgeleitet werden. Dazu werden der Ansteuerfunktion bei kleinen Phasenfehlern die Koeffizienten  $k_1$  bis etwa  $k_5$  und bei großen Phasenfehlern die Abweichungen  $\Delta\phi_1$  bis etwa  $\Delta\phi_5$  aufgeschaltet.

Die unter Berücksichtigung der Korrekturwerte in der Logikeinheit errechneten korrigierten Ansteuerbefehle werden zu entsprechenden Datensätzen zusammengestellt, an den Funktionsgenerator weitergeleitet und dort zunächst gespeichert. Mit dieser Berücksichtigung von Korrekturwerten für die 1. bis etwa 5. Resonanzfrequenz ist eine hochgenaue Korrektur der Ansteuerfrequenz gewährleistet.

In einer weiteren bevorzugten Ausgestaltung der Erfindung ist vorgesehen, daß im Signalweg zwischen dem Meßwertaufnehmer und der Logikeinheit ein Analog-Digital-Wandler und im Signalweg zwischen dem Funktionsgenerator und der Ansteuereinheit zur Speisung des Schwingantriebes ein Digital-Analog-Wandler vorgesehen sind. Als Analog-Digital-Wandler kann ein digitaler Signalprozessor vorhanden sein. Damit ist eine Wandlung der vom Meßwertaufnehmer abgegebenen analogen Signale in die von der Logikeinheit geforderten digitalen Signale und entsprechend eine Wandlung der vom Funktionsgenerator ausgegebenen digitalen Frequenzsignale eine Wandlung in analoge Signale zur Bereitstellung für die Ansteuereinheit gewährleistet.

Weiterhin sollten vorteilhafterweise die Logikeinheit, der Funktionsgenerator, der Analog-Digital-Wandler wie auch der Digital-Analog-Wandler jeweils mit einem Taktgenerator verbunden sein. Damit ist es möglich, die vom Meßwertaufnehmer gelieferten Informationen der Antwortfrequenz an die Logikeinheit sowie die Weitergabe der korrigierten Ansteuerbefehle an den Funktionsgenerator und die Ansteuerbefehle für den folgenden Scannvorgang synchronisiert weiterzugeben.

Als Schwingmotor sollte ein galvanischer Antrieb vorgesehen sein. Damit ist eine definierte, vom Erregerstrom vorgegebene Schwingbewegung des Schwingspiegels realisierbar. Als Meßwertaufnehmer sollte ein kapazitives Winkelmeßsystem vorgesehen sein. Dieses Winkelmeßsystem sollte so ausgelegt sein, daß es zur Erfassung von Positionswerten des Schwingspiegels in beiden Scannrichtungen, d. h. sowohl für den Vor- als auch für Rücklauf des galvani-

schen Antriebes, ausgelegt ist. Daraus ergibt sich vorteilhaft, daß die bidirektionalen Positionswerte über den digitalen Signalprozessor am Eingang der Logikeinheit anliegen und so eine etwa halbierte Bildaufbauzeit im Vergleich zu einem Scannvorgang in nur einer Richtung realisierbar ist, d. h. Vor- und Rücklauf der Scannerbewegung wird nutzbar; eventuell noch vorhandene kleinere Abweichungen können für den Vor- und Rücklauf identisch gemacht werden.

Die Erfindung soll nachfolgend an einem Ausführungsbeispiel näher erläutert werden. In den zugehörigen Zeichnungen zeigen

Fig. 1 ein Prinzipschaltbild des erfindungsgemäßen Ansteuersystems,

Fig. 2 den Verlauf einer unkorrigierten Steuerspannung für eine Bildaufbauzeit  $< 1s$ ,

Fig. 3 den Verlauf der korrigierten Steuerspannung für die Bildaufbauzeit  $< 1s$ .

Gemäß dem Ausführungsbeispiel nach Fig. 1 sind in einem Scanner 1 ein galvanischer Antrieb 2, ein Schwingspiegel 3, der über eine mechanische Verbindung 9 mit dem galvanischen Antrieb 2 gekoppelt ist, eine Ansteuereinheit 4, deren Ausgang mit dem Steuereingang des galvanischen Antriebes 2 in Verbindung steht sowie ein kapazitives Winkelmeßsystem 7, das zur Ermittlung der phasenabhängigen Spiegelposition dient, vorgesehen. Weiterhin ist ein Funktionsgenerator 5 vorhanden, der über einen Signalweg 16 mit dem Signaleingang eines digitalen Signalprozessors 6 verbunden ist, während der Ausgang des Signalprozessors 6 über einen Signalweg 17 am Befehlseingang der Ansteuereinheit 4 anliegt. Ein erster Ausgang des kapazitiven Winkelmeßsystems 7 ist über eine Regelstrecke 8 mit einem Steuereingang der Ansteuereinheit 4 verbunden.

Die Ansteuereinheit 4 ist so ausgelegt, daß sie den galvanischen Antrieb 2 mit einem Erregerstrom speist, der hinsichtlich seiner Frequenz, seiner Schwingungsform und seiner Amplitude variabel ist. Der Funktionsgenerator 5 ist so ausgelegt, daß er mehrere verschiedene Frequenzen ausgeben kann, die einzeln ausgewählt über den Signalweg 16, den digitalen Signalprozessor 6 und den Signalweg 17 in der Ansteuereinheit 4 der Steuerspannung für den galvanischen Antrieb 2 aufgeprägt werden können. Der Steuerspannung wird dabei eine synthetische Dreiecksspannung (vgl. Fig. 2 und Fig. 3) zugrunde gelegt, die nur Frequenzen enthält, die der galvanische Antrieb 2 verarbeiten kann. Für den konkreten Fall sei beispielhaft angenommen, daß im Funktionsgenerator 5 zweiundvierzig verschiedene Frequenzen bis zu max. 5 kHz zum Abruf bereitstehen.

Beim Betreiben dieser Anordnung überträgt der galvanische Antrieb 2 jede der im Erregerstrom bzw. in der Steuerspannung enthaltene Frequenz über die mechanische Verbindung 9 auf den Schwingspiegel 3, da jeweils die Grundfrequenz und alle Oberwellen eine mit der zugehörigen Verstärkung und Phasenverschiebung veränderte Antwort hervorrufen, die sich in einer entsprechend geänderten Ablenkposition des Schwingspiegels 3 äußert, wobei die jeweilige Ablenkposition einer Position des Laserstrahles bei seinem Weg über eine in X-Richtung abgetastete Zeile entspricht. Beispielhaft sei angenommen, daß bei jedem Weg über die X-Richtung 1.200 Ablenkpositionen abzutasten sind, denen je ein Bildpunkt in der Objektebene zugeordnet ist.

Die jeweils vom Schwingspiegel 3 eingenommene Ablenkposition entspricht einem vom kapazitiven Winkelmeßsystem 7 dargestellten Positionswert, der über die Regelstrecke 8 wieder der Ansteuereinheit 4 zugeführt und dort im Falle einer Soll/Ist-Abweichung der Spiegelposition von der vorgegebenen bzw. ideal gewünschten Ablenkposition sofort zur Korrektur des Ansteuersignales für die folgende Ansteuerung des galvanischen Antriebes 2 genutzt wird.

Dieser an sich bekannte Vorgang entspricht einer herkömmlichen Regelung.

Um nun sehr kurze Bildaufbauzeiten, insbesondere im Bereich von  $< 1s$ , verwirklichen zu können, kommt es aber darauf an, daß die zur Verfügung gestellte und die Scannbewegung auslösende synthetische Dreiecksspannung weitestgehend dem Antwortverhalten des Scanners nach Amplitude und Phase anzupassen ist, so daß aufgrund des Steuerungungsverlaufes eine hochgenaue Ablenkung des Schwingspiegels 3 gewährleistet wird. Das bedeutet, den Übertragungsfaktor der Ansteuerfunktion bezüglich der Antwortbewegung möglichst dem Wert 1 zu nähern und damit die Abweichung zwischen Ansteuerfunktion und Antwortbewegung auf ein Mindestmaß, etwa  $\leq 0,5$  Pixel, zu beschränken. Um das zu erreichen, wurde das bisher dargestellte Ansteuersystem, das auf einer Regelung der Ansteuerfrequenz beruht, erfindungsgemäß ergänzt mit einer Logikeinheit 13, deren Befehlseingang über den Signalweg 12, einen zweiten digitalen Signalprozessor 11 und den Signalweg 10 mit einem zweiten Ausgang des kapazitiven Winkelmeßsystems 7 verbunden ist. Der Ausgang der Logikeinheit 13 ist über einen Signalweg 14 mit einem Ansteuer Eingang des Funktionsgenerators 5 verbunden. Eine weitere Kopplung zwischen dem Funktionsgenerator 5 und der Logikeinheit 13 besteht durch den Signalweg 15 zur Übertragung von Referenz- und Vergleichssignalen vom Funktionsgenerator 5 zur Logikeinheit 13. Außerdem ist ein Taktgenerator 18 vorgesehen, der über den Signalweg 19 mit dem zweiten digitalen Signalprozessor 11, über den Signalweg 20 mit der Logikeinheit 13, über den Signalweg 24 mit dem Funktionsgenerator 5 und über den Signalweg 21 mit dem ersten digitalen Signalprozessor 6 verbunden ist.

Vor der Aufnahme des eigentlichen Scannbetriebes, beispielsweise in einem Laserscannmikroskop, ist es mit dieser Schaltungsanordnung zunächst möglich, das gesamte Ansteuersystem auf Systemfehler zu prüfen und unter Berücksichtigung von Systemfehlern so zu kalibrieren, so daß eine hochgenaue Ablenkung des Schwingspiegels 3 in Abhängigkeit von der vorgegebenen Frequenz möglich ist. Zum Zweck dieses als Kalibrierung bezeichneten Ablaufes werden zunächst nacheinander alle vom Funktionsgenerator 5 bereitgestellten 42 Frequenzen abgerufen und mit diesen Frequenzen Scannvorgänge ausgelöst. Die digitalen Signalprozessoren 6 und 11, der Funktionsgenerator 5 sowie die Logikeinheit 13 werden dabei vom Taktgenerator 18 synchronisiert. Die von der Logikeinheit 13 aufgenommene Antwort wird ausgewertet und in Form eines Bode-Diagrammes analysiert, wobei das Bode-Diagramm für jede Frequenz der Fourierkoeffizienten die Ermittlung eines Phasenwinkels und eines zugeordneten Übertragungsfaktors ermöglicht. Auf der Grundlage der ermittelten Phasenwinkel und der Übertragungsfaktoren ist die Synthese von Ansteuerfunktionen für Scannerfrequenzen in einem weiten Bereich ( $1/64 \text{ Hz} \dots \approx 600 \text{ Hz}$ ) möglich, die zu einer korrigierten Ansteuerfrequenz für den galvanischen Antrieb 2 mit der vom kapazitiven Winkelmeßsystem 7 genutzt werden. Die auf diese Weise synthetisierten Datensätze für eine Schwingung der Dreieckswelle werden im Funktionsgenerator 5 abgelegt und können von dort zyklisch abgerufen werden. Auf diese Weise stehen als Ergebnis des Kalibriereschrittes im Funktionsgenerator 5 Datensätze zur Verfügung, die die Eigenschaften des Scansystemes berücksichtigen. Mit diesen Datensätzen ist festgelegt, wie der Scannantrieb angesteuert werden muß, um die gewünschte hochgenaue periodische Ablenkung zu erhalten.

Mit dem nun möglichen genauen Scannbetrieb werden weiterhin für jeden einzelnen der 1.200 Ablenkpunkte des Laserstrahles durch Auswertung der Rückmeldung über das

kapazitive Winkelmeßsystem 7, analog zu dem vorbeschriebenen Kalibrierschritt, die Abweichungen zur idealen Ablenkposition ermittelt, daraus korrigierte Ansteuerbefehle gewonnen und im Funktionsgenerator abgelegt. Von dort erfolgt entsprechend der vom Taktgenerator vorgegebenen Taktfrequenz zyklisch die Abfrage und Weiterverarbeitung der korrigierten Ansteuer-Datensätze zur Erzielung hochgenauer Scannpositionen.

In Fig. 2 ist die unkorrigierte Steuerspannung für ein konkretes System in Form einer synthetischen Dreiecksspannung für den Scannvorgang mit einer Bildaufbauzeit von  $0,75s$  dargestellt. Dabei zeigt die Länge  $z$  die Abmessung einer in X-Richtung abzutastenden Zeile. Außerdem ist die Dreieckswelle 22 für die Ansteuerspannung und die Dreieckswelle 23 für die Antwortbewegung zu erkennen. Es ist ersichtlich, daß die Dreieckswelle 23 ihren Nulldurchgang nicht bei  $z/2$  hat, d. h. der Schwingspiegel 3 und damit der abgelenkte Laserstrahl folgen nicht exakt der mit der Dreieckswelle 22 vorgegebenen Ansteuerspannung.

Fig. 3 zeigt die Situation nach erfolgter Korrektur. Die Dreieckswelle 23 der Antwortbewegung ist insbesondere an der Flanke nahe den Umkehrpunkten geglättet und hat außerdem ihren Nulldurchgang nunmehr genau bei  $z/2$ .

Mit dieser erfindungsgemäßen Schaltungsanordnung sind synthetische Dreiecksspannungen realisierbar, die eine hohe Spiegelsymmetrie aufweisen und demzufolge das bidirektionale Scannen mit höchsten Genauigkeitsanforderungen ermöglichen.

#### Bezugszeichenliste

- 1 Scanner
- 2 Schwingantrieb
- 3 Schwingspiegel
- 4 Ansteuereinheit
- 5 Frequenzgenerator
- 6 erster digitaler Signalprozessor
- 7 kapazitives Winkelmeßsystem
- 8 Regelstrecke
- 9 mechanische Verbindung
- 10 Ausgang des Winkelmeßsystems
- 11 zweiter digitaler Signalprozessor
- 12 Signalweg
- 13 Logikeinheit
- 14, 15, 16, 17, 19, 20, 21, 24 Signalwege
- 18 Taktgenerator
- 22 Dreieckswelle Ansteuerfrequenz
- 23 Dreieckswelle Antwortfrequenz
- z Zeilenlänge

#### Patentansprüche

1. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb, insbesondere für ein Laserscannmikroskop, mit einem Schwingmotor zum Antreiben eines Schwingspiegels, der zur linear oszillierenden Ablenkung eines Strahlenbündels dient, mit einer Ansteuereinheit zur Speisung des Schwingmotors mit einem Erregerstrom, der hinsichtlich der Ansteuerfrequenz, der Frequenzkurve und der Amplitude veränderbar ist, mit einem Funktionsgenerator, der mit der Ansteuereinheit verbunden ist und mit einem Meßwertaufnehmer zur Gewinnung einer Folge von Informationen über die Ablenkpositionen des Schwingspiegels, **dadurch gekennzeichnet**, daß der Meßwertaufnehmer über eine Logikeinheit (13) zur Ermittlung von Korrekturwerten für den Erregerstrom mit dem Funktionsgenerator (5) verknüpft ist.
2. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb nach An-

spruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß mindestens ein Signalausgang des Funktionsgenerators (5) zur Übermittlung von Referenz- und Vergleichssignalen über einen Signalweg (15) mit einem zugeordneten Signaleingang der Logikeinheit (13) verknüpft ist.

3. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der Logikeinheit (13) eine erste Rechenschaltung zur Umsetzung der Informationen über die Ablenkpositionen des Schwingspiegels (3) nach Amplitude und Phase des Scanners (1), bezogen auf eine Vielzahl von Ansteuerfrequenzen, vorgesehen ist.

4. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der Logikeinheit (13) eine zweite Rechenschaltung zur Ermittlung der Werte von  $k_1 \dots k_n$  und  $\varphi_1 \dots \varphi_n$  für die Fourierfrequenzen der Reihe

$$y = \frac{4}{\pi} \cdot [k_1 \sin(x + \varphi_1) - k_2 \sin(3x + \varphi_2)/3^2 + k_3 \sin(5x + \varphi_3)/5^2 - + \dots]$$

vorgesehen ist, mit  $k_1$  bis  $k_n$  den Korrekturfaktoren,  $x$  dem Ablenkwinkel und  $\varphi_1$  bis  $\varphi_n$  den Phasenwinkeln.

5. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß in der Logikeinheit (13) eine dritte Rechenschaltung zur Modellierung einer korrigierten Ansteuerfunktion aus dem Vergleich von tatsächlich erreichter Ablenkposition mit der gewünschten Ablenkposition vorgesehen ist, wobei die Modellierung der korrigierten Ansteuerfunktion auf der Grundlage von Korrekturwerten erfolgt, die aus diesem Vergleich abzuleiten sind und wobei der Ansteuerfunktion bei kleinen Phasenfehlern die Koeffizienten  $k_1$  bis etwa  $k_5$  und/oder einzelne Funktionswerte und bei großen Phasenfehlern die Abweichungen  $\Delta\varphi_1$  bis etwa  $\Delta\varphi_5$  aufgeschaltet werden.

6. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Ergebnisausgabe der ersten Rechenschaltung auf der Grundlage eines Bode-Diagramms vorgesehen ist.

7. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß die dritte Rechenschaltung über Schaltbausteine zur Ermittlung von Korrekturwerten für die 1. bis 20. harmonische Resonanzfrequenz der Ansteuerfrequenz verfügt.

8. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß im Signalweg zwischen dem Meßwertaufnehmer und der Logikeinheit (13) ein Analog-Digital-Wandler und im Signalweg zwischen dem Funktionsgenerator und der Ansteuereinheit zur Speisung des Schwingmotors ein Digital-Analog-Wandler vorgesehen sind.

9. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß als Analog-Digital-Wandler ein digitaler Signalprozessor (11) vorgesehen ist.

10. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß sowohl die Logikeinheit (13), der Funktionsgenerator (5), der Analog-Digital-Wandler wie auch der Digital-Analog-Wandler jeweils mit einem Taktgenerator (18) verbunden sind.

11. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Schwingmotor ein galvanischer Antrieb (2) vorgesehen ist.

12. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb nach einem der vorgenannten Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß als Meßwertaufnehmer ein kapazitives Winkelmeßsystem (7) vorgesehen ist.

13. Ansteuersystem für einen Scannerantrieb nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, daß das kapazitive Winkelmeßsystem (7) zur Erfassung von Positionswerten des Schwingspiegels in bidirektionaler Scannrichtung, d. h. für Vor- und Rücklauf des galvanischen Antriebes (2), ausgelegt ist und die bidirektionalen Positionswerte über den digitalen Signalprozessor (11) am Eingang der Logikeinheit (5) anliegen.

---

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

---

- Leerseite -

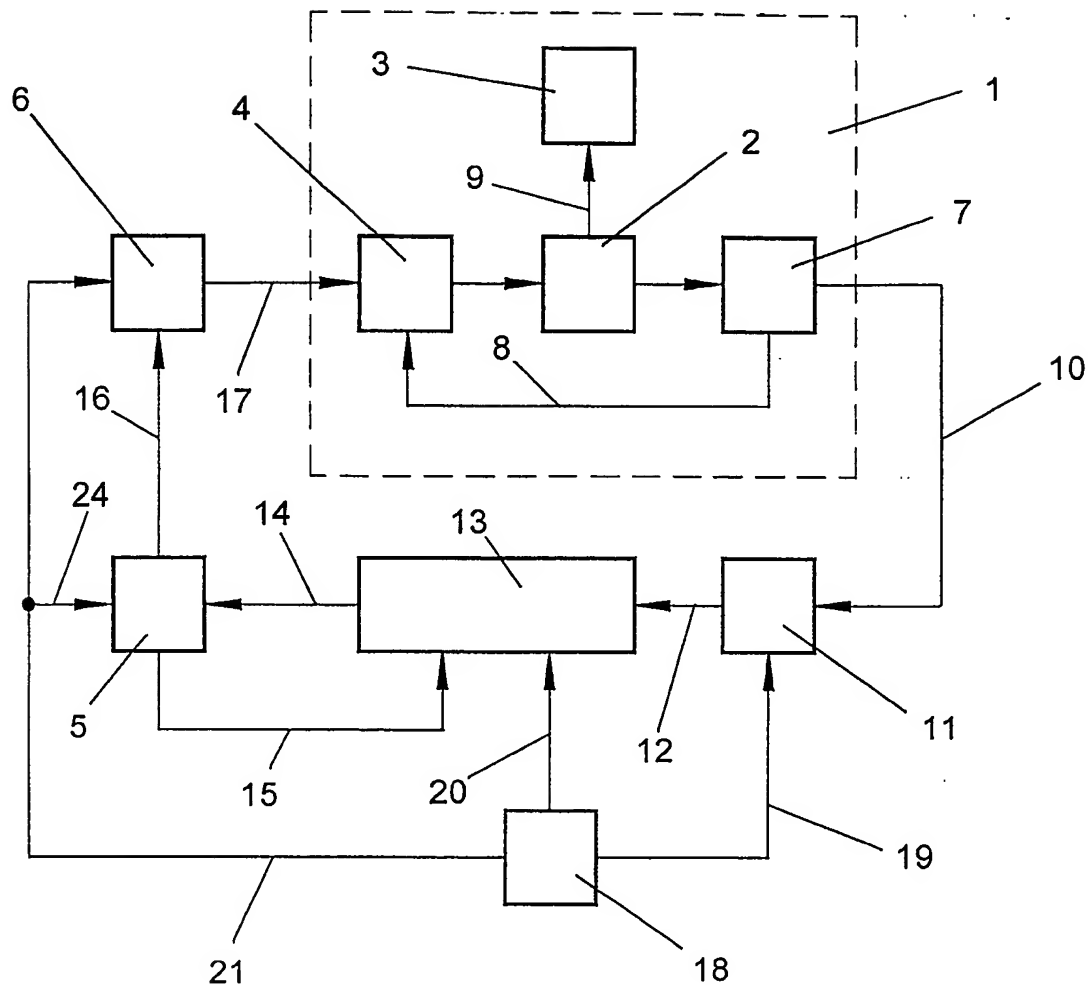


Fig.1

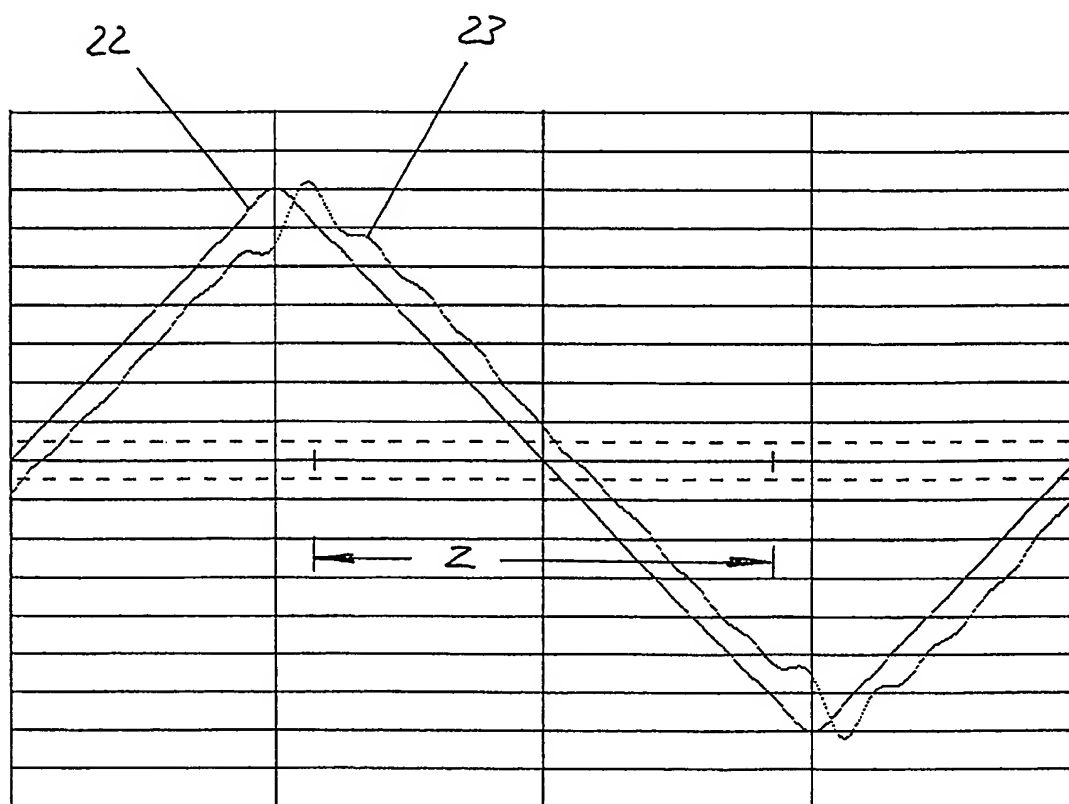
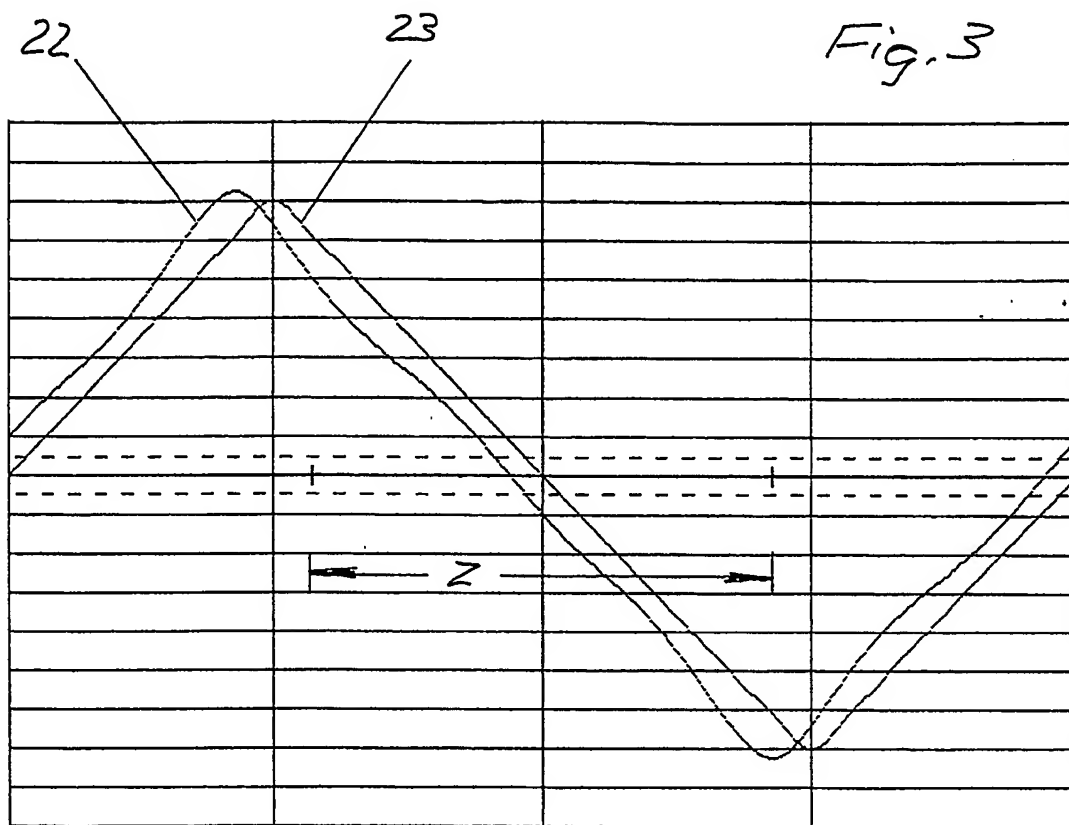


Fig. 2